



TITLE:

断層横断管路の耐震設計手法に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

長谷川, 延広

CITATION:

長谷川, 延広. 断層横断管路の耐震設計手法に関する研究. 京都大学, 2016, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2016-09-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19978>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	長谷川 延 広
論文題目	断層横断管路の耐震設計手法に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>2011 年東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）は、従来の大地震とは比較にならないほどの大規模かつ広域的な地震であっただけでなく、大津波というこれまでは殆ど考慮されていなかった事象によって東日本一帯は極めて甚大な被害を被った。また、日本列島を構成する地殻全体の応力バランスにも影響を与えた可能性があり、今後の内陸地震活動への影響が懸念されることになった。重要基幹管路が断層を横断するような場合、活断層は一般に長さが数 km～数十 km にも及ぶために迂回することが難しく、もし断層面が動いた場合には局所的に数 m オーダーの変位発生が想定されるため、地震時には極めて過酷な環境となる。したがって、ライフラインの確保の観点から一般埋設部とは異なる耐震対策が必要となる。</p> <p>本研究では、断層を横断する管路の対策の 1 つとして、断層変位によって管路に生じる特有の変形を利用した「断層用鋼管」を研究開発した。「断層用鋼管」は、予め変形し易い山形の部位（波形部）を設け、変形を制御することにより、断層面を横断して布設された管路などで、地震時に数 m に及ぶ極めて大きな地盤変状が局所的に発生した場合においても、亀裂や漏水することなく内空断面を確保して管路の通水機能を維持することができる水道管路である。</p> <p>本論文は全 7 章から構成されている。各章で行ったこと、および得られた結果は以下の通りである。</p> <p>第 1 章は序論である。本研究での目的と背景について触れ、断層横断管路の対策工の必要性を述べている。また、断層を横断する埋設管路の現状として、既存工法について数例を挙げて、その有効性と問題点について述べている。</p> <p>第 2 章は、日本の活断層について「活断層データベース」のデータ整理を行い、日本での断層の特徴を述べている。また、地表地震断層が見られた地震例や断層を横断する管路の被害例を挙げ、この被害例から断層横断部での管路の変形は、断層変位によって「Z」字状に変形することを示し、その変形メカニズムについて FEM 解析結果をもとに述べている。</p> <p>第 3 章では、断層を横断する管路の対策工として、断層横断部での管路の変形は「Z」字状に変形することを利用した「断層用鋼管」について述べている。「断層用鋼管」は塑性ヒンジ位置に波形部を設けることで、変形を波形部に誘導し、断層変位を曲げ変形として吸収することができる。また、波形部の形状は座屈波形とし、FEM 解析によって曲げ角度を最も大きく取ることができる形状としている。</p> <p>第 4 章では、「断層用鋼管」の変形性能を確認するため、以下の 4 つの実験を行った。</p> <p>（1）曲げ性能確認実験（4 点曲げ実験）</p> <p>断層用鋼管における曲げ性能を確認するために、600A 実管を用いた 4 点曲げ実験を行った。実験結果では、波形管の有効性を確認するとともに、内面接触角度は 17.1°、最終変形（曲げ角度約 30°）においても波形部には亀裂なく、通水断面も 80%以上確保していることが分かった。さらに、FEM 解析を実施し、断層用鋼管は波形部が単純な形状かつ単一材料のモデルであるため再現性が非常に高いことを確認した。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	長谷川 延広
<p>(2) 地中における変形性能確認実験（土槽実験）</p> <p>土槽実験を実施することで、地中においても断層用鋼管は波形部を適切な箇所に設置することで、波形部で断層変位を曲げ変形として吸収することを確認した。また、土槽実験における管の変形も FEM 解析を使って十分に再現できること確認された。</p> <p>(3) 塗装追従性確認実験</p> <p>実管を用いて 4 点曲げ実験を行い、塗装の追従性について確認を行った。実験結果から、内面塗装においては変形に追従しており、亀裂が入っていないことを確認した。このため、変形後もそのまま使用し続けても特に防食上の問題はない。</p> <p>また、外面については、曲げ角度 9.4° で亀裂が発生するため、変形後に断層用鋼管をそのまま使用する場合には塗装の補修等の何らかの対策が必要となる。</p> <p>(4) 連動性確認実験</p> <p>本実験では、複数の山を設置した場合の山の連動性を確認するため、50A、2 山タイプの断層用鋼管の実管を用いて曲げ変形させ、山が連動して変形していくことを確認した。また、同様の条件で FEM 解析を実施し、非常に高い精度で試験体の変形が再現できることを確認した。</p> <p>第 5 章では、「断層用鋼管」を用いた場合の断層横断管路における耐震設計手法の提案を行った。波形管の設置間隔を決めるための推定式の検討では、塑性ヒンジ発生位置を求めるために基本モデルを構築し、微分方程式から推定式を誘導した。また、この推定式の有効性を確認するため、土槽実験および FEM 解析を実施した。この結果、推定式は実用上問題のない精度で実験値および FEM 解析値と整合しており、提案する推定式が有効であることを確認した。断層出現位置の振れ幅の検討では、これまでの地震で実際に出現した地表地震断層と地震発生以前に想定されていた断層位置を比較することで、想定されていた断層位置がどの程度の振れ幅を持って出現するか整理した。</p> <p>第 6 章では、「断層用鋼管」の適用拡大を図るため、波形部の形状を改良することで、撓曲構造の軸圧縮変形に対応した「撓曲構造対応型断層用鋼管」、および地盤沈下に対応した「大変位吸収鋼管」を新たに研究開発した。「撓曲構造対応型断層用鋼管」は、活断層の中には逆断層でありながら断層面が地表面まで達しない「撓曲構造」と呼ばれる構造を有する活断層が存在する。撓曲構造内に管路が布設された場合、主に管軸方向の圧縮変形が作用するほか、撓曲構造の下層部では新たに断層面が形成される場合も想定されることから、管軸圧縮変形ならびに曲げ変形の両方へ対応する事が求められる。そこで、このような撓曲構造を有する逆断層にも対応するため、従来の断層用鋼管の波形部形状を見直し、曲げ変形と軸方向圧縮変形の両方に対応可能な「撓曲構造対応型」断層用鋼管を研究開発した。「大変位吸収鋼管」では、東日本大震災で地盤沈下対策として設置されている伸縮可撓管の抜けが多発したことから、地震時に想定外の地盤変位が生じても、抜けや漏水することなく、通水機能が維持できる、断層用鋼管のような機能を持った伸縮可撓管の必要性が高まった。そこで、地盤沈下対応型の断層用鋼管として「大変位吸収鋼管」の研究開発を行った。</p> <p>第 7 章は結論であり、本研究で得られた成果を要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

2011 年東北地方太平洋沖地震は、日本列島を構成する地殻全体の応力バランスにも影響を与えた可能性があり、今後の内陸地震活動への影響が懸念される。国内各地に分布する活断層は内陸地震を引き起こす潜在的危険個所であり、断層に対する地震対策は急務であると言える。本研究は、断層を横断する管路の対策として考案した「断層用鋼管」の研究開発および耐震設計手法の確立を目的に行ったものである。本研究で得られた成果は以下の通りである。

1. 地表地震断層が見られた地震例や断層を横断する管路の被害例を挙げ、この被害例から断層横断部での管路の変形は、断層変位によって「Z」字状に変形することを示し、その変形メカニズムについて FEM 解析結果を基に考察した。このメカニズムを利用して、断層を横断する管路の対策工として、管路に波形部を設けることで、変形を波形部に誘導し、断層変位を曲げ変形として吸収することができる「断層用鋼管」を考案した。波形部の形状は、FEM 解析によって曲げ角度を最も大きく取れる形状とした。
2. 「断層用鋼管」の変形性能を確認するため、曲げ性能確認実験、地中における変形性能確認実験、塗装追従性確認実験、連動性確認実験の 4 つの実験を実施した。塗装追従性確認実験では、外面塗装が許容曲げ角度以下で亀裂が生じたため、地震によって変形したあとは補修が必要であることが分かった。その他の実験においては変形性能の確認及び FEM 解析での高い再現性が確認された。
3. 「断層用鋼管」を用いた断層横断管路における耐震設計手法の提案を行った。波形管の設置間隔を決めるための推定式の検討では、塑性ヒンジ発生位置を求めるための基本モデルを構築し、境界条件を設定することで微分方程式から推定式を誘導した。また、この推定式の有効性を確認するため、土槽実験および FEM 解析を実施した。この結果、推定式は実用上問題のない精度で実験値および FEM 解析値と整合しており、提案する推定式が有効であることを確認した。さらに、断層出現位置の振れ幅の検討では、これまでの地震で実際に出現した地表地震断層と地震発生以前に想定されていた断層位置を比較することで、想定されていた断層位置がどの程度の振れ幅を持って出現するか整理した。
4. 「断層用鋼管」のさらなる可能性を考え、波形部の形状を改良することで、軸圧縮変形に対応した「撓曲構造対応型断層用鋼管」および地盤沈下に対応した「大変位吸収鋼管」の研究開発を行った。

以上より、本論文は、断層用鋼管の実験と解析を通した地震時挙動解明とその現場への適用性、および地盤沈下に対応した鋼管への拡張等に関して、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 28 年 8 月 2 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。